

セラミックス製バーナ部品の実機適用評価

エネルギー総合研究所 発電・材料担当 田中 輝夫



1 まえがき

燃焼ガスの接触や輻射熱により焼損（高温腐食、亀裂）が激しい火力発電所ボイラのバーナ延命化に取り組み、耐熱性・耐腐食性に優れたセラミックス素材（二段焼結窒化珪素）を開発した。

従来のバーナ部品は、耐熱性ステンレス（SUS310S）が用いられているが、高温腐食に優れたセラミックス素材を適用することで、変形や焼損を抑えることができ耐久性が向上する。

この開発したセラミックス素材をバーナ部品へ適用し、実機曝露試験において良好な結果が得られたので、その成果を紹介する。

2 概要

(1) 二段焼結窒化珪素の開発

二段焼結窒化珪素（Sintered Reaction Bonded Silicon Nitride：以下SRBSN）は、原料のシリコン粉末（Si）に焼結助剤として、イットリア（ Y_2O_3 ）とアルミナ（ Al_2O_3 ）を添加したものであり、この原料粉末を必要な形に加圧成形し、窒素雰囲気中で1,500まで加熱し、その後1,900まで加熱し製作するものである。（図1）

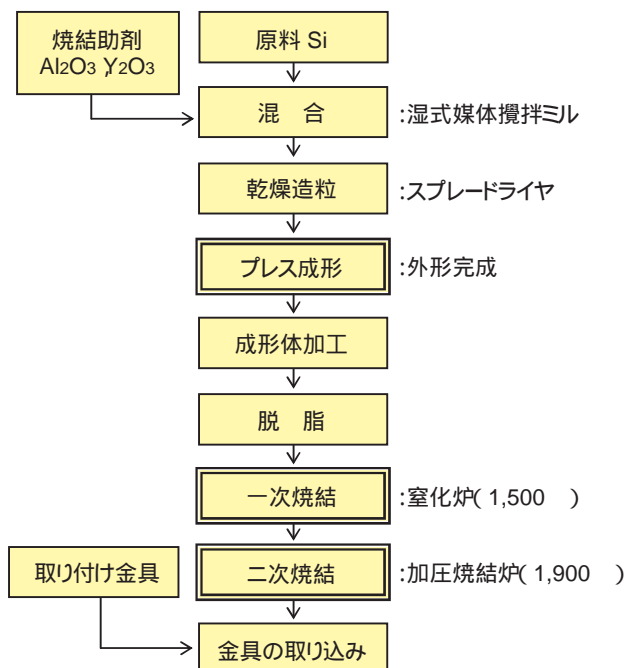


図1 SRBSNの製造方法

【SRBSNの主な特徴】

高温腐食に優れている。（図2）

従来の焼結窒化珪素と比較して、緻密質であり強度特性に優れている。（表1）

耐酸化性が高い。（表1）

焼結後の収縮率が少なく約1割である。

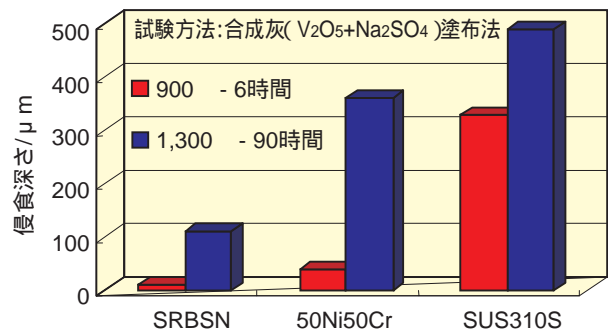


図2 高温腐食性

表1 焼結窒化珪素（従来品）との特性比較

項目	SRBSN	焼結窒化珪素
かさ密度 (g/cm^3)	3.26	2.46
気孔率 (%)	1以下	17.2
曲げ強度 (MPa/mm^2)	804	139
耐熱衝撃性 (TK)	700	550
高温耐酸化性 (mg/cm^2)	0.1	12.9

(2) 重油焚きバーナ実機試験

a. 試験概要

重油焚きバーナの先端部に取り付けられた保炎器は、燃料の着火を確実に任せ火炎の安定を図るための重要な部品である。しかし、この保炎器は、高温環境で使用され燃料中のバナジウムやナトリウム等の腐食成分により高温腐食が発生し、約2年程度で変形や焼損を起こし取り替えを行っている。（図3、4）

この対策として、耐熱性、耐腐食性に優れたSRBSNを用いたセラミックス製保炎器を開発し当社玉島発電所3号ボイラで実機試験を行った。（図5）

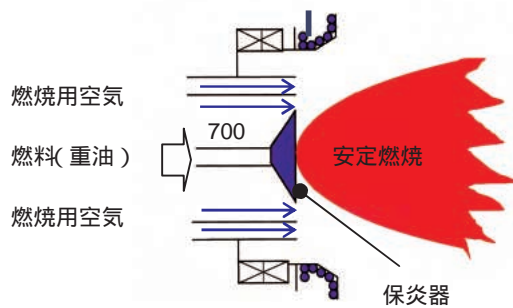


図3 重油バーナ構造

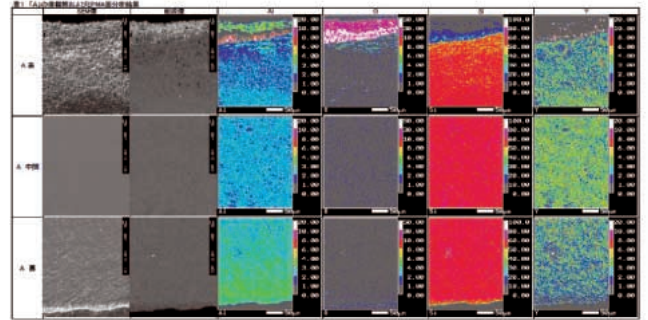


図6 断面組織観察結果

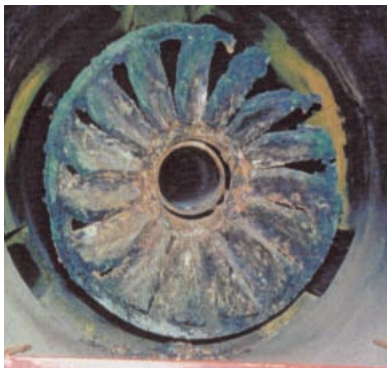


図4 2年使用後の従来型保炎器
(材質: SUS310S, 50Ni50Cr)

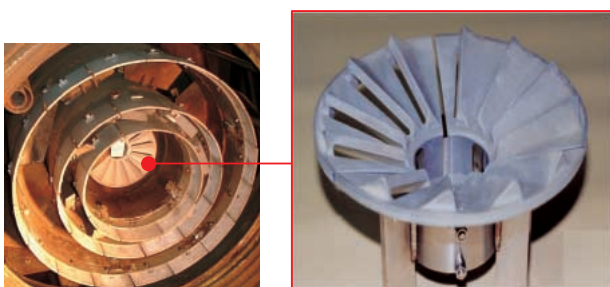


図5 重油焚きバーナ適用状況

b. 試験結果

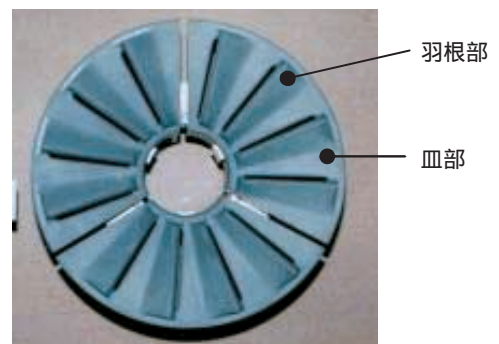
実機環境で57,000時間(試験期間8年10カ月)の曝露試験を行った。各部の評価結果は次のとおりである。

(a) 組織観察結果

セラミックスタイルの表面に50 μ m程度の酸化膜層が認められたが、表面層は主にAl₂O₃から構成されており、この表面酸化膜により焼結体内部の酸化が抑制されると考えられる。(図6)

(b) 強度試験結果

セラミックスタイルの強度変化を把握するため、3点曲げ強度を測定した。初期強度(約800MPa)を維持しており、実機曝露試験後も強度低下がないことが分かった。



測定箇所	初期値	皿部	羽根部
測定値 (MPa)	800	757	771

図7 3点曲げ強度測定結果

(c) 運転時間と減肉量の関係

皿部の損傷はほとんど認められず、寿命肉厚6mm以上を満足している。なお、皿部は高応力が生じる部位であり、必要最低肉厚は6mm(基厚 \times 75%)である。

羽根部は端部より損耗しているが、端部の肉厚が0mmになっても羽根の形状を維持しており、機能的に問題ないと判断できる。羽根部の減肉は、表面酸化膜の形成と運転時の熱風により剥ぎ取られることの繰り返しにより進行すると考えられる。なお、減肉速度は0.1 μ m/hである。(図8)

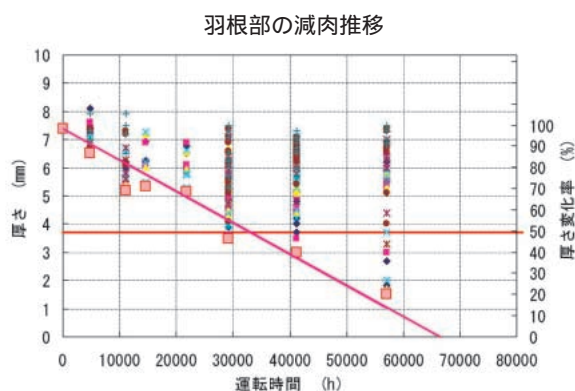
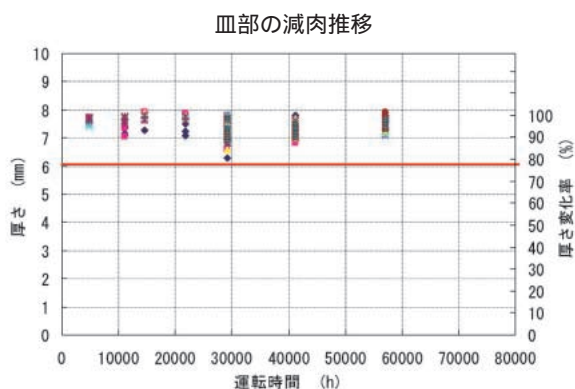


図8 保炎器（皿部，羽根部）の減肉推移

(d) 実機適用評価

従来品の寿命は約14,000時間であるが、開発したセラミックス製保炎器は70,000時間使用可能と判断できる。従来品と比較して5倍以上の寿命延長が可能と判断できる。

(3) 石炭焼きバーナ実機試験

a. 試験概要

石炭焼きバーナは、微粉炭による摩耗が著しいため（図9）約1～2年で取り替えを行っており、多額の補修費を要している。

この対策として、石炭焼きバーナノズルに適したセラミックスタイルの形状・接合方法を開発（図10）し、当社下関発電所1号ボイラで実証試験を行った。

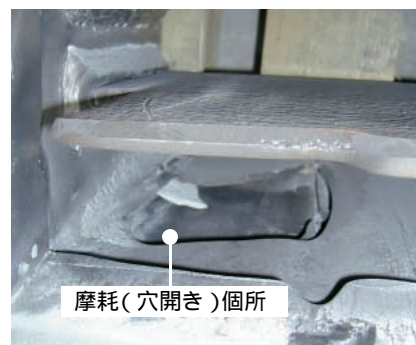


図9 1年使用後の従来型バーナノズル



図10 セラミックス製微粉炭バーナ

〔衝突角度と摩耗量の関係〕

実機適用においては、微粉炭の流れによる摩耗の多い部位へ開発品の取り付けを行った。

流速、粒子形状によって若干変化するが、衝突角度30°～45°で最大の摩耗が起こり、微粉炭が30°以上の角度で直接衝突する範囲は、上流側から170mm程度と推測される。なお、底板は5のテーパをもち乱流が発生しやすいため、全面が高摩耗域と推定される。

（図11，12，13）

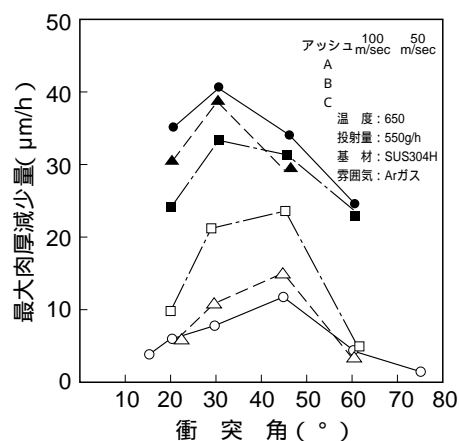


図11 衝突角度と摩耗量の関係

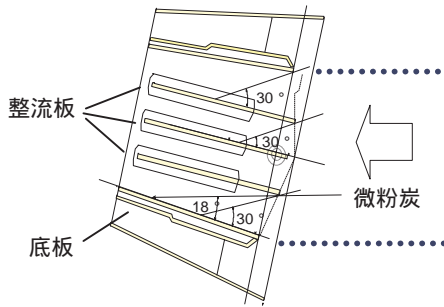
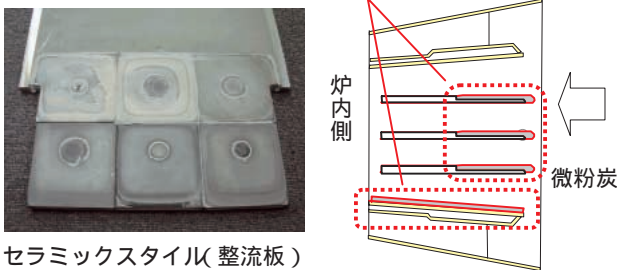


図12 ノズルと衝突角度の関係

セラミックスタイル取り付け範囲



セラミックスタイル (整流板)

図13 石炭バーナノズル適用状況

b. 試験結果

実機環境で11,600時間（試験期間2年）の曝露試験を行った。各部の評価結果は次のとおりである。

(a) 目視・組織観察結果

セラミックスタイルの脱落・割れは認められず、健全な状態を維持している。表面近傍での亀裂は認められず、組織的にも均一であり、反応層も形成されていない。（図14）

減肉速度は100 μm/年程度である。なお、整流板の金属部分で軽微な摩耗が認められ、軽度の補修を要する。

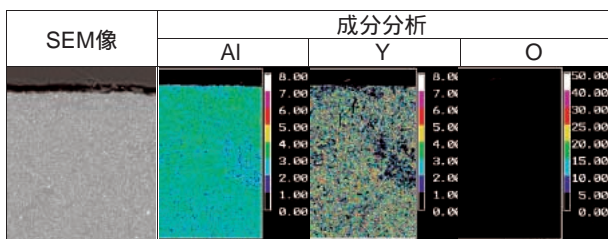


図14 断面組織観察結果

(b) 強度試験結果

セラミックスタイルの3点曲げ強度を測定した。初期強度（約800MPa）を維持しており、実機曝露試験後も強度低下がないことが分かった。

(c) 実機適用評価

下関発電所バーナは、1年周期で補修が必要であったが、開発したセラミックス製微粉炭バーナは、試験期間2年後でも減肉は軽微であり、強度低下も認められず性能上問題ないと判断できる。なお、減肉量から判断すると20年使用も可能と考えられる。

3 研究成果

高温腐食および耐摩耗性に優れたSRBSNを用いた火力発電所ボイラのバーナ部品を開発し、実機曝露試験において良好な結果が得られた。

本研究成果から実機へ適用できる見通しを得た。

4 あとがき

本研究で得られた知見を電源事業本部ならびに玉島発電所、下関発電所と情報を共有し、火力発電所バーナ部品の保守に活用していきたい。